



Ernesto J Calvo

Instituto de Química Física de los
Materiales, Medioambiente y Energía
(INQUIMAE), UBA-Conicet

Litio, un recurso estratégico para el mundo actual

El elemento litio (Li), descubierto en 1817 por el sueco Johan Arfvedson (1792-1841), es el metal más liviano y reactivo que se conoce. No se encuentra en la naturaleza en estado metálico puro sino en forma de compuestos, aunque puede llevarse por procesamiento a ese estado, en el que conforma solo una pequeña parte del mercado actual del elemento. La fabricación de cátodos de baterías, que genera una porción sustancial de la demanda presente de litio, lo requiere en forma de productos químicos inorgánicos (carbonatos e hidróxidos). Por eso, la mayoría del litio nunca pasa por el estado metálico en su viaje del suelo a una batería.

El litio se extrae actualmente de dos fuentes principales: salmueras y rocas duras. Las primeras son aguas con altas concentraciones de sales inorgánicas, en este caso cloruros; las segundas son aquellas que contienen espodumeno, un mineral con litio, silicio y aluminio. Más del 70% de las reservas mundiales de litio se encuentran en salares altoandinos del noroeste de la Argentina, sudo-

te de Bolivia y norte de Chile. En los principales del territorio argentino –Hombre Muerto en Catamarca, Olaroz y Cauchari en Jujuy y Rincón en Salta– yacen importantes reservas mundiales de litio en forma de salmueras. Vale la pena, entonces, analizar los aspectos científicos, tecnológicos y geopolíticos de la explotación del litio con el fin de definir las políticas más convenientes para la población argentina.

El litio y el mercado mundial

La empresa japonesa Sony fue la primera en comercializar baterías recargables de ion-litio, un tipo de batería que data de 1991 en la que iones de litio se desplazan del electrodo negativo (ánodo) al positivo (cátodo) cuando se descarga y en sentido contrario durante la carga. Sony puso esas baterías en el mercado en 1991 y desde entonces su uso no ha cesado de crecer. El ubi-

¿DE QUÉ SE TRATA?

El desafío técnico, político y económico de manejar un recurso natural que se ha llegado a comparar con el petróleo y el gas natural para almacenar energía.

cuo hábito actual de utilizar teléfonos celulares, tabletas y computadoras portátiles no existiría sin dichas baterías. En 2012 solo el 7% del litio comercial se destinaba a baterías, pero para 2016 esa proporción se había elevado al 50% y generaba en total una energía de 87 gigavatios-hora (1GWh es la energía empleada en una hora por un millón de hogares de clase media). Para 2026 se estima que esa demanda se incrementará más de diez veces, a unos 1000GWh, sobre todo por la multiplicación de vehículos eléctricos. Como solo en Sudamérica unos treinta millones de personas carecen actualmente de acceso a la red eléctrica, se anticipa que allí habría una demanda adicional cercana a los 7,5GWh para almacenaje de energía por electrificación de zonas remotas a partir de fuentes renovables intermitentes, como el sol y el viento.

Así como las baterías de litio permitieron generar una revolución en las comunicaciones por habilitación de los medios portátiles, se piensa que producirían otra en la movilidad por hacer lo mismo con los vehículos eléctricos. El automóvil Tesla S, por ejemplo, vendido por el empresario Elon Musk, lleva 6kg de litio en 7104 baterías tipo 18650, mientras que la única de un teléfono celular tiene unos 350mg de litio. Es decir, para ese automóvil eléctrico hace falta el litio de más de 17.000 celulares, una ilustración elocuente del salto esperado en la demanda de litio.

Por otro lado, el litio se emplea en farmacología, por ejemplo, para drogas psiquiátricas, en la industria aeroespacial en aleación con aluminio y magnesio, y en la

nuclear en forma de su isótopo ^6Li . El hidróxido de litio se emplea en grasas lubricantes, como absorbente de CO_2 en submarinos y naves espaciales, y para la fabricación de cerámicos y vidrio.

Métodos de extracción

El litio reacciona vigorosamente con el oxígeno y el nitrógeno atmosféricos para dar respectivamente óxido y nitrato de litio; con dióxido de carbono forma carbonato de litio, y con agua, hidróxido de litio e hidrógeno. Se lo encuentra como cloruro en salmueras, agua de mar, aguas termales y géiseres, y en rocas como espodumeno. Se lo extrae de las primeras por lenta evaporación del agua y recristalización fraccionada de sales de sodio, potasio y magnesio. De las rocas se lo obtiene por procedimientos de minería convencional, como molienda, lixiviación y tratamiento químico. Ambas extracciones tienen consecuencias ambientales.

Los salares se forman en cuencas continentales que no drenan al mar. Son el receptáculo de sales que provienen de actividad volcánica y se acumularon como sedimentos insolubles. El núcleo cristalino de estos, impregnado de salmuera intersticial, contiene gran cantidad de sales de litio, sodio, potasio, magnesio y otros elementos. Bajo la radiación solar, la evaporación de las salmueras conduce a la recristalización fraccionada de diferentes sales de metales alcalinos.

Para extraer el litio, se succiona por bombeo la salmuera que está por debajo de la capa de sal de un salar y se hace evaporar lentamente el agua en extensas piletas o 'pozas' de varias hectáreas y unos 30cm de profundidad, con el fondo recubierto por una lámina plástica, excavadas próximas al salar. La superficie de evaporación es siempre muy extensa: en los salares chilenos de Atacama, las pozas cubren el equivalente a 3000 estadios de fútbol. La velocidad de evaporación varía entre 1,5 y 6 litros por m^2 y por día, y depende de la composición química de la salmuera y de las condiciones meteorológicas, pero por lo general requiere más de un año. Por cada tonelada de carbonato de litio que se obtiene se evaporan por lo menos 1,5 millones de litros de agua. La foto aérea de la página 21 revela pozas en diferentes etapas de la evaporación, de variados colores debido a las sales coloidales. Como puede haber en promedio un gramo de litio por litro de salmuera, obtener una tonelada del elemento requiere la evaporación de un millón de litros de agua, una cantidad significativa en zonas áridas como el altiplano.

Para enriquecer la salmuera en litio se debe eliminar el calcio, el magnesio, el boro y las trazas de otros metales alcalinos. Una vez que por la evaporación se llega a



El triángulo del litio, en el que se encuentra más del 70% de las reservas mundiales del elemento.



Paisaje del salar del Hombre Muerto en la puna catamarqueña.

una concentración del 6% de cloruro de litio en la salmuera, se la bombea a una planta industrial en la que se precipita el magnesio con cal o soda Solvay y se elimina el boro con solventes, los que deben recuperarse por destilación. Luego se precipita el carbonato de litio impuro agregando carbonato de sodio en caliente y se purifica para llegar al 'grado batería' (99,6%). Por electrodiálisis de la solución concentrada de cloruro de litio se puede obtener hidróxido de litio hidratado de alta pureza. En el proceso descrito se forman lodos de sales insolubles de magnesio y calcio, que son contaminantes del ambiente.

Existen otros procedimientos para obtener litio, algunos en estado experimental, otros con alto costo ambiental y otros económicamente inviables en estos momentos. También los hay patentados por empresas. La firma minera estadounidense FMC, que opera en Hombre Muerto como Minera del Altiplano SA y exporta carbonato y cloruro de litio, desarrolló un método basado en intercambio iónico para fabricar litio metálico en una atmósfera de argón a unos 400°C, pero no lo aplica en la Argentina.

Para recuperar litio de salmueras con menos de 1% de concentración y altas concentraciones de iones alca-

linos y alcalinos térreos, la empresa siderúrgica surcoreana Posco ha patentado un proceso rápido de precipitación directa de fosfato de litio tratando las salmueras con ácido fosfórico. Si bien no se requiere prolongada evaporación, las salmueras naturales contienen magnesio y calcio, por lo que en la práctica se forman lodos contaminantes de fosfatos de magnesio y calcio en grandes cantidades, que afectan el ambiente. El proceso fue rechazado en Bolivia y en la provincia de Jujuy, pero recientemente se anunció el inicio de su aplicación en Salta.

Alternativamente, se ha propuesto la extracción de litio con solventes orgánicos, pero la energía requerida para recuperar el solvente y el costo de este, así como el posible daño ambiental, lo hacen inviable para una explotación de gran escala.

Un método alternativo de extracción

Los métodos electroquímicos facilitan la extracción de litio de salmueras en forma sostenible, con bajo daño ambiental, sin pérdida de agua ni generación de residuos quí-



Excavación para instalar una la piletta de evaporación de salmuera o 'poza', de 30cm de profundidad y varias hectáreas de superficie.



Una poza instalada en las cercanías del salar de Cauchari, en Jujuy, que explota la firma Exar SA. Advértase la lámina de plástico que cubre su fondo. Foto Cámara Minera de Jujuy-Inter Press Service.

micos y con bajo costo energético. Nuestro grupo de investigación en el INQUIMAE ha desarrollado un método electroquímico de extracción de litio de salmueras naturales de la puna que tiene esas características y fue patentado por el Conicet. La prueba piloto fue exitosa y actualmente se trabaja en la ingeniería que lleve a aplicarlo en una escala industrial. Se caracteriza por hacer circular la salmuera por un reactor electroquímico cuyo cátodo está hecho de óxido de litio y manganeso del tipo de una batería.

El proceso requiere poca energía, que se puede obtener de paneles solares, pues en la puna la radiación solar proporciona más de 2600kWh/m² durante todo

el año. La inversión de capital en paneles solares con vida útil de treinta años asciende a 10 dólares por tonelada de cloruro de litio extraída. Nuestra propuesta de combinar radiación solar para producir electricidad con un método electroquímico para la extracción sostenible y selectiva de litio recibió el primer premio del concurso internacional Bright Minds Challenge, organizado por la multinacional holandesa Koninklijke DSM en 2017, en el que compitieron 55 proyectos de veintidós países.

Explotación del litio

En la Argentina, además de la mencionada empresa FMC, que llegó al país en oportunidad de la privatización de Fabricaciones Militares en la década de 1990 y opera Hombre Muerto, actúa una subsidiaria de la australiana Orocobre, Sales de Jujuy SA, que explota Olaroz con la participación de Jujuy Energía y Minería SE (JEMSE) y la comercializadora nipona Toyota Tsusho Corporation. En Cauchari opera la firma Minera Exar SA, que pertenece a la canadiense Lithium Americas Corp y fue adquirida recientemente en partes iguales por la empresa china Tianquia y la Sociedad Química y Minera de Chile (SQM). Por su lado, la estadounidense Albemarle Corporation está haciendo prospección en el salar de Antofalla y otras empresas están buscando cómo incorporarse al mercado argentino del litio, entre ellas, Enirgi (Canadá), Galaxy Resources Ltd (Australia), LSC Lithium X Energy Corporation (Canadá) —hace poco adquirida por Pluspetrol SA— y Eramet SA

(Francia). La Constitución Nacional (1994) establece que los recursos mineros son de los estados provinciales. Su explotación por concesión aporta regalías a las provincias e impuestos de exportación a la Nación, pero estos ingresos se consideran desproporcionadamente bajos con relación a los precios de los minerales.

En Chile el litio fue declarado estratégico y no cesible, con cupos de extracción regulados por una entidad estatal, la Corporación de Fomento de la Producción (CORFO). SQM tiene una capacidad instalada de 58.000 toneladas de carbonato y 8000 toneladas de hidróxido de litio por año, mientras que Albemarle pro-

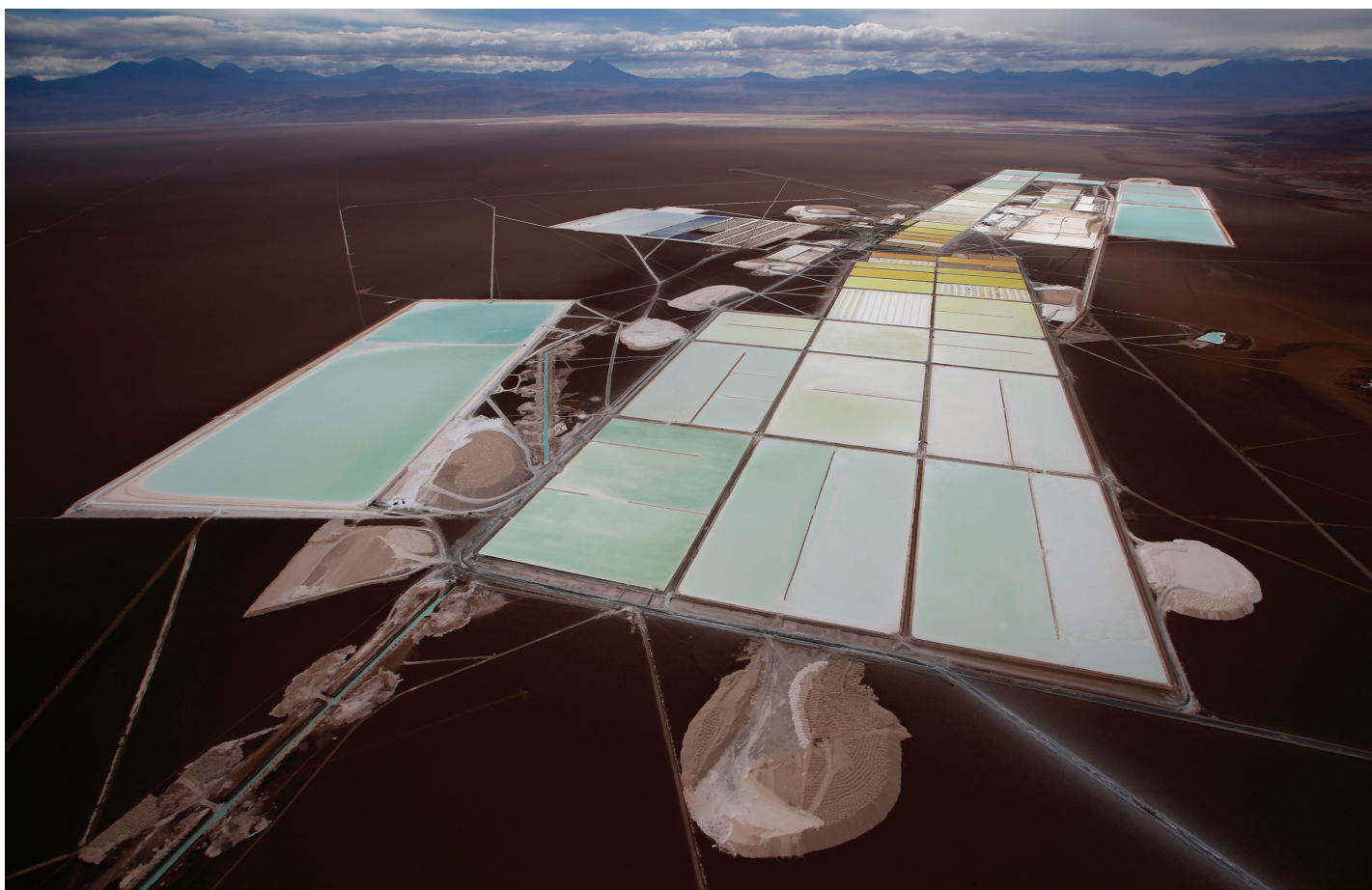
duce en Chile 48.000 toneladas anuales de carbonato de litio, sobre las que el gobierno chileno recauda una regalía del 40% del exceso de su precio por encima de los 10.000 dólares por tonelada, más un aporte anual de 25 millones de dólares para un centro de energías renovables en Antofagasta. Contrasta esto con la magra financiación que recibe el Centro de Investigación y Desarrollo en Materiales Avanzados y Almacenamiento de Energía de Jujuy, dedicado a la búsqueda y el desarrollo de nuevas tecnologías para la extracción de litio de los salares de altura de la puna.

La Constitución del Estado Plurinacional de Bolivia estipula que los recursos minerales pertenecen al pueblo boliviano y que el Estado encara su extracción. En 2017, este constituyó la empresa Yacimientos Bolivianos de Litio (YBL). En 2015 había levantado una planta piloto de carbonato de litio en el salar de Uyuni y otra de materiales de cátodos y baterías en La Palca, Potosí. Tiene en construcción una planta industrial de carbonato de litio grado batería para producir de 4000 a 5000 toneladas anuales, con un objetivo de 15.000 toneladas. También ha creado una empresa mixta con capitales alemanes para aportar tecnología y mercados al litio boliviano.

Las empresas consultoras Roskill y Accenture pronostican que en los próximos años crecerá más la extracción de litio de roca que de salmueras. Poner en régimen la explotación de un salar lleva por lo menos siete años, desde la exploración hasta la producción industrial. La química de cada salar es diferente y determina el método de extracción. La extracción de grandes volúmenes de salmuera puede tener consecuencias hidrogeológicas negativas, que las comunidades circundantes ya advierten.

La Argentina en el mercado global del litio

En 1964 Luciano Catalano, subsecretario de Minería en el gobierno del presidente Arturo Illia, describió en detalle la distribución de litio en el territorio argentino en el libro *Boro, berilio y litio, una nueva fuente de energía*. En particular, describió los salares del Hombre Muerto, Cauchari, Olaroz, Rincón y Centenario. También se refirió a reservas de espodumeno en Córdoba. Apuntó que el litio



Vista aérea de pozas en el salar de Atacama, en Chile. Las diferencias de color corresponden a distintos avances en el proceso de evaporación de las salmueras. Foto Reuters-Iván Alvarado

había adquirido ‘el carácter de material crítico extraordinario en la defensa nacional, lo que obliga a una sana y obligada actuación estatal para su cuidado y reserva’.

La capacidad instalada argentina alcanzó unas 35.000 toneladas anuales de carbonato de litio equivalente en 2018, obtenidas a partir de la evaporación de salmueras y exportadas sin procesamiento adicional, gran parte por el paso de Jama, en Jujuy. El valor agregado de esas exportaciones aumentaría si se apuntase a exportar carbonato y cloruro grado batería, materiales de cátodo, sales especiales para baterías, etcétera. Chile ya ha radicado empresas asiáticas para la fabricación local de materiales de cátodos de baterías, y Bolivia ha formado una empresa mixta con la alemana ACI Systems GmbH para dar valor agregado al litio que se extrae del salar de Uyuni. Por cada 100 dólares de litio que exporta la Argentina, quedan unos pocos centavos de dólar como regalías para la provincia de origen, y para el Estado Nacional, los impuestos que gravan las exportaciones. Además, están los efectos económicos de la inversión inicial y de la operación minera a lo largo de la vida del yacimiento, complejos de calcular porque se diseminan por la trama de empleos y abastecimientos que forma la estructura de la economía. El país, sin embargo, bien podría imitar a sus vecinos Chile y Bolivia y agregar valor a un producto natural que se ha vuelto estratégico en el mundo presente. Para empezar, hace falta la voluntad política de llevarlo a cabo.



Carbonato de litio embolsado para exportación en Bolivia. Foto Gerencia Nacional de Recursos Evaporíticos

Unas posibilidades adicionales

La Argentina tiene una tradición científica y un sistema de investigación que se destacan en el ámbito iberoamericano, tanto para hacer ciencia académica como orientada a aplicaciones. Ello permitiría poner en marcha una industria química de litio (en la jerga, industria aguas abajo o *downstream*). Además de materiales para baterías, podría encararse, por ejemplo, la fabricación de compuestos farmacéuticos y de isótopos para la industria nuclear. No sería imposible multiplicar entre 10 y 100 veces el valor de las

exportaciones de litio, y con ello generar puestos más calificados de trabajo. La cadena de valor del litio, que se inicia en la minería, se incrementa considerablemente en las industrias química, farmacéutica, aeroespacial, del vidrio y los cerámicos, de lubricantes y refrigerantes.

El sol y el litio de la puna podrían combinarse para fabricar amoníaco destinado a fertilizantes agrícolas. La producción mundial de amoníaco crece al ritmo de la población mundial y emplea el 1% de la energía producida en el planeta. El litio, por su lado, es el único metal que se combina con el



Instalaciones industriales de la firma Minera del Altiplano SA en Hombre Muerto. En este tipo de instalaciones se procesa la salmuera cuando alcanza suficiente concentración. La que muestra la imagen produce carbonato y cloruro de litio. Foto American Museum of Natural History-Felicity Arengo



Las baterías de ion-litio también se han comenzado a usar tanto en pequeña como en gran escala para almacenar energía de fuentes renovables intermitentes, por ejemplo, el sol o el viento. Vista parcial de una planta en Mira Loma, California. Fue construida por el empresario Elon Musk, quien buscaba bajar el costo del kWh proporcionado por las baterías. El nombrado también montó en 2018 la mayor instalación del mundo de este tipo, con la capacidad de almacenar 129MWh de energía eléctrica, en las cercanías del parque eólico Hornsdale, en Jamestown, Australia del Sud.

nitrógeno atmosférico a presión y temperatura ambientes, en contraste con el acostumbrado método industrial actual de obtención de amoníaco, llamado proceso Haber-Bosch, que requiere presión y temperatura altas, además de demandar hidrógeno que obtiene de hidrocarburos fósiles (con la consiguiente liberación de CO_2 a la atmósfera). El fisicoquímico danés Jens Nørskov, de la Universidad Técnica de Dinamarca y de Stanford, ha propuesto producir amoníaco empezando por obtener litio metálico a partir de hidróxido de litio, lo cual conduce a la formación de nitruro de litio por reacción con nitrógeno gaseoso y reacción de este con agua para llegar al

amoníaco. El litio actúa simplemente como catalizador, y el proceso no emite dióxido de carbono a la atmósfera.

En una nación agroexportadora y consumidora de fertilizantes, vale la pena considerar alternativas técnica y económicamente viables de producir amoníaco localmente. Lo mismo con el hidróxido de litio, que se usa como insumo para cátodos de baterías de ion-litio con níquel-manganeso-cobalto (NMC) y no se fabrica en el país. La Argentina tiene un territorio abundantemente dotado de un recurso con cuantiosa y creciente demanda. De las generaciones presentes depende lo que haga con él. **[H]**

LECTURAS SUGERIDAS

BARAN E (ed.), 2017, *Litio, un recurso natural estratégico: desde los depósitos minerales a las aplicaciones tecnológicas*, Academia Nacional de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Buenos Aires.

FORNILLO B (ed.), 2015, *Geopolítica del litio: industria, ciencia y energía en la Argentina*, CLACSO, Buenos Aires.

NACIF F y LACABANA M (eds.), 2015, *ABC del litio sudamericano: soberanía, ambiente, tecnología e industria*, Centro Cultural de Cooperación-Universidad Nacional de Quilmes.



Ernesto J Calvo

Doctor en ciencias químicas, UNLP.
Investigador superior del Conicet.
Profesor titular, FCEN, UBA.
Director del INQUIMAE, UBA-Conicet.
ernestojulio.calvo@gmail.com